

# 井冈山土壤发生特性与系统分类研究\*

冯跃华<sup>1,2</sup> 张杨珠<sup>1†</sup> 邹应斌<sup>2†</sup> 胡胜<sup>1</sup> 黄运湘<sup>1</sup> 周清<sup>1</sup> 胡瑞芝<sup>1</sup> 王翠红<sup>1</sup>

(1 湖南农业大学资源环境学院,长沙 410128)

(2 湖南农业大学农学院,长沙 410128)

**摘要** 为推广应用中国土壤系统分类,了解井冈山土壤在中国土壤系统分类中的位置,对位于湘赣边境的井冈山的山地土壤进行系统分类研究。调查采集的典型土壤剖面理化性质的测定结果表明:井冈山土壤的主要发生特性随海拔高度呈规律性的变化,依照《中国土壤系统分类检索(第三版)》,该区土壤垂直带谱结构为:湿润富铁土(< 500 m),湿润淋溶土(500 ~ 1 000 m),常湿淋溶土(1 000 ~ 1 500 m),正常新成土(1 500 ~ 1 900 m)。

**关键词** 井冈山;山地土壤;系统分类;发生特性;垂直带谱

**中图分类号** S155.1 **文献标识码** A

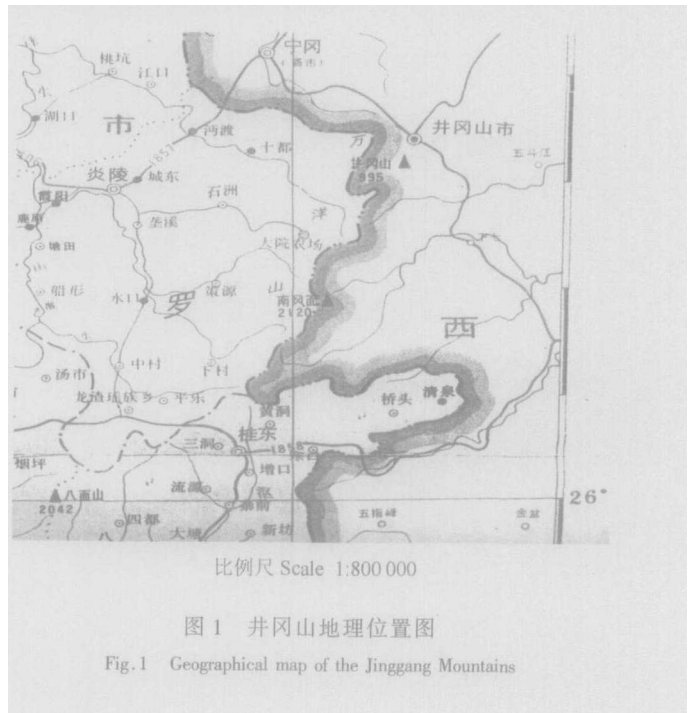
历经近 20 年的探索,2001 年出版的《中国土壤系统分类检索(第三版)》,不仅受到国内外土壤学界普遍好评,成为世界土壤三大分类系统之一,而且标志着中国土壤系统分类高级分类基本成熟<sup>[1,2]</sup>。这一符合国际趋势的土壤分类系统的推广应用已成为土壤工作者当前的主要任务之一,高等院校相关专业无疑是推广土壤系统分类的主要阵地。本文以《中国土壤系统分类检索(第三版)》为依据,对位于湘赣边境的井冈山的山地土壤进行系统分类研究,以期对该区的土地利用与规划提供依据。

## 1 自然环境条件与调查研究方法

### 1.1 自然环境条件

井冈山位于湘赣边境的罗霄山脉中段,地理位置是北纬 26°27' ~ 26°40',东经 113°39' ~ 114°23'。井冈山地处中亚热带,受东南季风和山地地形的影响,气候温和湿润,并呈现出较明显的山地垂直地带性。据 1961 ~ 1970 年气候资料:海拔 840 m 的茨坪年平均气温为 14.3℃,而山麓海拔 60.4 m 的太和年平均气温为 18.7℃,比前者高 4.4℃;茨坪年平均降水量和年平均相对湿度分别为 1 795.5 mm 和 84%,而太和其相应值分别为 1 386.2 mm 和 78%,分别比前者

增加 409.3 mm 和 6%,可见,随着海拔高度上升,气温降低,降水量和相对湿度增大的山地气候变化特点,在井冈山表现比较明显<sup>(1)</sup>。



井冈山的山岭起伏大,山高谷深,相对高差悬殊。随着山地海拔上升,气温逐渐降低,相对湿度逐渐增大。因而植被的分布也随海拔高度的不同、温

\* 国家“863”课题(2001AA218041)和 2004 年湖南省教育厅项目(04C287)资助

† 通讯作者:张杨珠, E-mail: Zhangyangzhu@263.net; 邹应斌, E-mail: Zouyingbin@263.net

作者简介:冯跃华(1969~),男,汉族,湖北仙桃人,博士研究生,讲师,主要从事农业资源利用研究。E-mail: fengyuhua@263.net

(1)湖南农业大学农业资源系编. 地质地貌学与土壤地理学教学实习指导书. 1999. 71 ~ 91

收稿日期:2004 - 10 - 10;收到修改稿日期:2005 - 01 - 10

度和湿度的差异而发生相应的变化。海拔 1 000 m 以下是常绿阔叶林和部分针叶林,向上逐渐变化为常绿阔叶林与落叶阔叶混交林和针叶与阔叶树混交林,1 500 m 以上有山顶矮林分布,而山地草甸和荒山草地均是由原生森林遭破坏后显现的一种不稳定或相对稳定的植被类型。山地草甸主要分布于海拔 1 300 ~ 1 800 m 的山顶地段且与山顶矮林相互交替分布;荒山草地主要分布在海拔 1 300 m 以下的丘

陵地区<sup>(1)</sup>。

## 1.2 调查研究方法

选取井冈山垂直带 7 个具代表性的土壤剖面,其成土环境和相对位置分别见表 1 和图 2。本研究野外调查根据不同海拔高度结合植被类型选择土壤观测点,并对土壤进行剖面观察记载,采集土壤剖面分析样品<sup>[3,4]</sup>。所采集的样品按文献<sup>[5]</sup>的方法进行分析测定。

表 1 土壤剖面成土环境条件

Table 1 Environmental conditions of the soil profiles

剖面编号 Profile No.	采样地点 Sample site	海拔 Elevation (m)	经纬度 Coordinates	母岩 Parent rock	母质 Parent material	地形部位及坡度 Relief and slope	植被 Vegetation
JG01	炎陵县 沔渡乡	260	26°34'N 113°51'E	花岗岩	冲积物 洪积物	丘陵上坡 30°	常绿阔叶林
JG02	井冈山 319 国 道 822 km 处	745	26°38'N 114°04'E	花岗岩	坡积物 残积物	中山上坡 36°	常绿阔叶林 马尾松林
JG03	井冈山 319 国道 805 km 处	945	26°36'N 114°07'E	板岩	坡积物 残积物	中山下坡 38°	常绿阔叶林 马尾松林、竹林
JG04	井冈山 319 国道 801 km 处	975	26°36'N 114°08'E	板岩	坡积物 残积物	中山下坡 39°	常绿阔叶林 马尾松林、竹林
JG05	黄洋界	1 208	26°37'N 114°07'E	花岗岩	坡积物 残积物	中山上坡 39°	常绿阔叶与落叶阔叶林及 针阔混交林
JG06	炎陵县大院 农场竹子溜	1 426	26°24'N 114°04'E	花岗岩	坡积物 残积物	中山下坡 39°	常绿阔叶与落叶阔叶林及 竹阔叶混交林
JG07	江西坳	1 841	26°24'N 114°05'E	花岗岩	残积物	山顶 35°	山地草甸 灌丛矮林

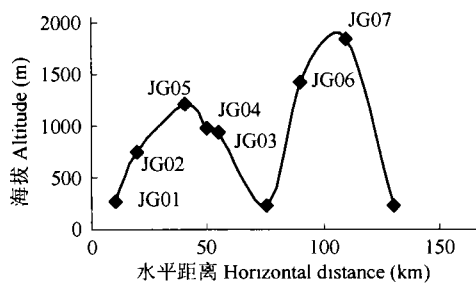


图 2 土壤剖面相对位置示意图

Fig. 2 The relative location map of soil profile

## 2 土壤发生特性

### 2.1 剖面特征和颗粒组成

井冈山土壤的剖面特征和颗粒组成如表 2 所示。井冈山土壤剖面发生层次分化较明显,除剖面

JG07 外,一般均可划分出表土层(A)、心土层(B)及半风化母质层(C),A 层与 B 层之间普遍存在过渡层 AB 层。各供试剖面土壤的有效土层随海拔升高逐渐变薄,如海拔 260 m 的剖面 JG01 土层厚度超过 200 cm,海拔 745 m 处剖面 JG02 土层厚度为 100 cm 左右,而海拔 1 841 m 处剖面 JG07 土层厚度仅为 25 cm。土壤颜色以黄红为主,色调 2.5YR ~ 10YR,彩度主要为 4 ~ 8,明度主要为 5 ~ 7,其中山顶处土壤颜色较暗,明度为 1。

土壤质地则以粘土和壤土为主,海拔由低至高,土壤质地由壤质粘土,粉砂质粘壤土逐步过渡到粘壤土、壤土、砂质壤土。土壤的颗粒组成,从总体来看,随海拔升高,粘粒含量减少,各层粉砂粒/粘粒比值增大,说明土壤风化程度随海拔高度的升高有降低的趋势。除 JG03 外,粘化率则随海拔升高有增强

的趋势,说明井冈山山体上部土壤粘粒淋溶较明显,粘化过程增强<sup>[6,7]</sup>。

## 2.2 土壤的化学性质

供试土壤的有关化学性质见表 3。井冈山地区在森林植被下发育的土壤,有机质积累较多,形成了明显的腐殖质层,其厚度和有机质含量均随海拔的升高而

显著增加。另外,有机质在剖面各层次间的分布极不均匀,表层土壤有机质含量明显高于下层土壤。

井冈山各剖面土壤均呈酸性反应,  $pH_{H_2O}$  为 4.14 ~ 5.33,  $pH_{KCl}$  为 3.50 ~ 4.28,  $pH_{KCl}$  均小于  $pH_{H_2O}$ 。井冈山土壤 pH 值以极强酸性、强酸性为主。在同一海拔下,土壤 pH 随土层加深, pH 值增大,酸性减弱。

表 2 剖面特征和颗粒组成

Table 2 Profile characteristics and particle composition of the soils studied

编号 Profile No.	发生层 Horizon	深度 Depth (cm)	结构 Structure	颜色 <sup>1)</sup> Color	颗粒组成				质地 Soil Texture	粉砂粒/ 粘粒 Silt/Clay	粘化率 Claying ratio
					Particle composition (g kg <sup>-1</sup> )						
					> 0.2 mm	0.2 ~ 0.02 mm	0.02 ~ 0.002mm	< 0.002 mm			
JG01	A	0 ~ 10	团粒状 <sup>①</sup>	2.5YR5/8	236.0	179.8	155.6	428.6	壤质粘土 <sup>⑥</sup>	0.36	
	AB	10 ~ 25	碎块状 <sup>②</sup>	2.5YR5/8	269.0	175.4	198.9	356.8	壤质粘土 <sup>⑥</sup>	0.56	0.83
	B	25 ~ 96	棱柱状 <sup>③</sup>	2.5YR5/8	261.2	167.2	170.4	401.2	壤质粘土 <sup>⑥</sup>	0.42	0.94
	BC	> 96	小块状 <sup>④</sup>	2.5YR4/8	237.8	172.0	169.4	420.9	壤质粘土 <sup>⑥</sup>	0.40	0.98
JG02	A	0 ~ 16	团粒状 <sup>①</sup>	7.5YR4/4	262.5	107.7	346.4	283.3	壤质粘土 <sup>⑥</sup>	1.22	
	AB	16 ~ 52	碎块状 <sup>②</sup>	7.5YR6/8	258.0	91.96	228.6	421.5	壤质粘土 <sup>⑥</sup>	0.54	1.49
	B <sub>1</sub>	52 ~ 96	棱柱状 <sup>③</sup>	7.5YR7/8	224.5	72.44	263.6	439.4	壤质粘土 <sup>⑥</sup>	0.60	1.55
	B <sub>2</sub>	96 ~ 128	柱状 <sup>⑤</sup>	5YR5/8	222.3	79.16	232.8	465.8	壤质粘土 <sup>⑥</sup>	0.50	1.64
	BC	> 128	小块状 <sup>④</sup>	2.5YR4/8	299.2	103.2	196.0	401.5	壤质粘土 <sup>⑥</sup>	0.49	1.42
JG03	A	0 ~ 13	团粒状 <sup>①</sup>	10YR5/8	54.32	125.7	404.6	413.3	壤质粘土 <sup>⑥</sup>	0.98	
	AB	13 ~ 35	碎块状 <sup>②</sup>	10YR7/6	258.4	276.8	361.4	103.5	壤土 <sup>⑦</sup>	3.49	0.25
	B	35 ~ 70	柱状 <sup>⑤</sup>	10YR6/4	212.3	366.2	247.6	173.8	砂质粘壤土 <sup>⑧</sup>	1.42	0.42
	BC	> 70	小块状 <sup>④</sup>	10YR5/8	234.1	409.7	247.8	108.2	砂质壤土 <sup>⑨</sup>	2.29	0.26
JG04	A	0 ~ 9	团粒状 <sup>①</sup>	7.5YR4/4	43.28	247.4	485.3	224.0	粉砂质粘壤土 <sup>⑩</sup>	2.17	
	AB	9 ~ 19	碎块状 <sup>②</sup>	7.5YR5/8	46.67	263.1	447.8	242.4	粘壤土 <sup>⑪</sup>	1.85	1.08
	B	19 ~ 46	柱状 <sup>⑤</sup>	7.5YR6/8	37.74	200.3	474.7	287.3	粉砂质粘壤土 <sup>⑩</sup>	1.65	1.28
	BC	> 46	小块状 <sup>④</sup>	7.5YR5/8	51.83	133.8	458.2	356.2	粉砂质粘壤土 <sup>⑩</sup>	1.29	1.59
JG05	A	0 ~ 19	团粒状 <sup>①</sup>	7.5YR2/1	383.0	167.9	142.5	306.6	壤质粘土 <sup>⑥</sup>	0.46	
	AB	19 ~ 40	碎块状 <sup>②</sup>	7.5YR4/6	362.3	178.9	158.5	300.3	壤质粘土 <sup>⑥</sup>	0.53	0.98
	B	40 ~ 73	柱状 <sup>⑤</sup>	10YR6/8	347.9	148.5	365.4	138.2	粘壤土 <sup>⑪</sup>	2.64	0.45
	BC	73 ~ 103	小块状 <sup>④</sup>	10YR6/6	357.2	123.8	340.8	178.3	粘壤土 <sup>⑪</sup>	1.91	0.58
	C	> 103	小块状 <sup>④</sup>	2.5Y8/2	675.6	143.7	126.6	54.03	砂土 <sup>⑫</sup>	2.34	
JG06	A	0 ~ 16	团粒状 <sup>①</sup>	5Y4/1	146.3	383.1	312.0	158.6	粘壤土 <sup>⑪</sup>	1.97	
	AB	16 ~ 40	碎块状 <sup>②</sup>	10YR5/8	274.9	269.9	314.1	141.1	壤土 <sup>⑦</sup>	2.23	0.89
	B	40 ~ 74	柱状 <sup>⑤</sup>	10YR7/6	263.0	268.5	265.9	202.6	粘壤土 <sup>⑪</sup>	1.31	1.28
	C	> 74	小块状 <sup>④</sup>	10YR7/6	331.8	293.7	187.0	187.5	砂质粘壤土 <sup>⑧</sup>	1.00	
JG07	A	0 ~ 19	团粒状 <sup>①</sup>	5Y2/1	248.1	304.0	309.95	139.0	砂质壤土 <sup>⑦</sup>	2.22	1.14
	AB	19 ~ 25	碎块状 <sup>②</sup>	5Y2/1	400.9	201.8	239.0	158.0	砂质粘壤土 <sup>⑧</sup>	1.51	

1) 干态 Dry state; ① Granular; ② Lumpy; ③ Prismatic; ④ Small block; ⑤ Column; ⑥ Loam clay; ⑦ Loam; ⑧ Sandy clay loam; ⑨ Sandy loam; ⑩ Silty clay; ⑪ Clay loam; ⑫ Sandy

表 3 土壤的有关化学性质  
Table 3 Some chemical properties of the soils

剖面 编号 Profile No.	发生 层 Hor- izon	有机质 O. M. (g kg <sup>-1</sup> )	pH		阳离子 交换量 CEC <sub>7</sub> (cmol kg <sup>-1</sup> )	交换性盐基 Exchangeable base (cmol kg <sup>-1</sup> )					交换性酸 Exchangeable acid (cmol kg <sup>-1</sup> )			盐基饱 和度 Base saturation (%)	铝饱 和度 Al satur- ation (%)
						总量 Total	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	H <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup>	总量 Total		
JG01	A	30.2	4.48	3.73	33.86	2.68	1.45	0.6	0.57	0.061	0.39	3.25	3.63	18.47	23.47
	AB	17.5	4.41	3.79	27.18	2.30	1.36	0.52	0.33	0.09	0.28	3.18	3.46	23.71	20.70
	B	14.4	4.69	3.85	21.27	1.71	0.84	0.56	0.25	0.058	0.23	2.19	2.42	20.02	22.56
	BC	14.0	4.73	3.83	26.92	1.59	0.82	0.47	0.24	0.063	0.18	2.10	2.29	14.06	23.95
JG02	A	37.8	4.43	3.87	57.59	2.43	1.37	0.72	0.27	0.068	0.41	3.68	4.10	14.88	17.07
	AB	11.5	4.63	3.90	28.23	1.29	0.74	0.3	0.19	0.061	0.30	3.03	3.33	10.85	29.57
	B <sub>1</sub>	6.2	4.73	3.92	24.85	1.07	0.56	0.23	0.21	0.066	0.23	2.86	3.09	9.76	32.52
	B <sub>2</sub>	5.0	4.76	3.86	25.87	0.92	0.41	0.17	0.28	0.064	0.21	2.54	2.75	7.67	34.14
	BC	4.6	4.36	3.94	24.47	0.91	0.46	0.05	0.33	0.07	0.30	2.88	3.18	9.26	30.52
JG03	A	49.2	5.03	4.31	27.49	3.02	1.44	0.72	0.77	0.094	0.27	0.82	1.10	26.62	8.82
	AB	22.8	5.33	4.42	79.14	1.15	0.1	0.56	0.41	0.078	0.18	0.55	0.73	14.02	3.34
	B	19.7	4.93	4.15	44.91	1.22	0.46	0.32	0.37	0.074	0.14	1.50	1.64	15.68	9.58
	BC	5.5	5.13	4.31	28.61	0.94	0.4	0.17	0.3	0.071	0.20	0.82	1.02	30.39	5.03
JG04	A	73.8	4.49	3.75	116.21	2.54	1.36	0.69	0.43	0.055	0.63	6.54	7.17	9.74	16.14
	AB	44.1	4.56	3.94	81.98	1.26	0.62	0.33	0.24	0.066	0.40	5.52	5.92	6.32	19.75
	B	24.2	4.75	4.11	50.94	1.06	0.45	0.18	0.35	0.08	0.33	2.97	3.30	7.24	21.18
	BC	11.8	4.86	4.25	30.54	1.04	0.47	0.24	0.25	0.084	0.31	1.65	1.96	9.60	21.81
JG05	A	97.9	4.14	3.90	85.33	2.54	1.48	0.65	0.34	0.071	0.28	4.38	4.66	9.71	19.40
	AB	44.7	4.41	4.14	55.57	1.41	0.65	0.39	0.3	0.069	0.23	2.75	2.98	8.44	19.86
	B	24.7	4.45	4.17	95.42	1.24	0.58	0.27	0.32	0.071	0.19	2.21	2.39	9.41	8.85
	BC	17.4	4.43	4.15	64.48	0.91	0.44	0.13	0.28	0.059	0.30	2.61	2.91	7.91	13.22
	C	2.7	4.58	4.23	124.30	0.78	0.31	0.09	0.33	0.054	0.19	3.20	3.40	11.67	4.34
JG06	A	127.3	4.05	3.85	227.41	3.21	1.59	0.64	0.91	0.065	0.61	6.61	7.22	8.89	10.68
	AB	33.6	4.30	4.06	110.06	1.45	0.64	0.35	0.4	0.059	0.44	2.70	3.14	9.33	9.18
	B	11.2	4.85	4.28	44.61	1.03	0.48	0.25	0.25	0.047	0.27	2.22	2.49	11.36	13.85
	BC	7.7	4.93	4.18	50.67	0.84	0.4	0.22	0.17	0.052	0.23	3.97	4.19	8.86	15.47
JG07	A	129.8	4.17	3.50	194.65	3.84	2.09	0.8	0.85	0.1	1.16	6.12	7.29	14.20	8.54
	AR	90.7	4.27	3.62	118.63	2.74	1.34	0.76	0.55	0.085	0.68	6.25	6.93	14.59	10.99

该区土壤 CEC<sub>7</sub> 值变化较大,在 21.27 ~ 227.41 cmol kg<sup>-1</sup>之间,且有随海拔升高而逐渐增高的趋势,其中以腐殖质层最明显<sup>[8]</sup>。同一土壤剖面随着土壤深度的增加,交换性盐基总量有下降的趋势。交换性盐基组成以 Ca<sup>2+</sup> 为主,其含量占交换性盐基总量的 50%以上,以 Na<sup>+</sup> 含量最低,不超过 0.1 cmol kg<sup>-1</sup>,而 K<sup>+</sup>、Mg<sup>2+</sup> 居中。盐基饱和度都很低,为 6.32% ~

30.39%,交换性酸总量为 1.02 ~ 7.29 cmol kg<sup>-1</sup>,且以 Al<sup>3+</sup> 为主,占总量的 90%左右,交换性酸总量和 Al<sup>3+</sup> 均有随海拔升高而增加的趋势,同一土壤剖面,随着土壤深度的增加,交换性酸总量和 Al<sup>3+</sup> 均有减少的趋势<sup>[8]</sup>。

### 2.3 土壤氧化铁的形态特征

井冈山土壤各形态氧化铁含量如表 4。作为成

土母质风化沉积的产物,土壤氧化铁含量能够反映成土过程和成土环境。氧化铁的活性较强,环境条件稍有变化就可对氧化铁的特征产生影响。因此土壤氧化铁的形态转化及其特性的研究一直是土壤发生学的重要研究领域之一。7个土壤剖面中除剖面

JG07全铁含量较低外,其他土壤剖面的全铁含量相近,一般在 $35 \sim 45 \text{ g kg}^{-1}$ 土之间。除JG02外,其他各剖面全铁含量均具有B层或AB层较A层高的趋势,说明氧化铁含量具有在B层或AB层富集的趋势<sup>[9,10]</sup>。

表4 供试土壤的氧化铁形态特征

Table 4 Morphological characteristics of iron oxides in the soils studied

剖面编号 Profile No	发生层 Horizon	全铁 $\text{Fe}_t(\text{g kg}^{-1})$	游离铁 $\text{Fe}_d(\text{g kg}^{-1})$	活性铁 $\text{Fe}_o(\text{g kg}^{-1})$	络合铁 $\text{Fe}_p(\text{g kg}^{-1})$	游离度 $\text{Fe}_d/\text{Fe}_t$ (%)	活化度 $\text{Fe}_o/\text{Fe}_d$ (%)	络合度 $\text{Fe}_p/\text{Fe}_d$ (%)	水合系数 Hydration coefficient
JG01	A	40.58	12.97	1.76	0.069	31.96	13.57	0.53	0.41
	AB	45.23	14.03	0.90	0.031	31.02	6.41	0.22	0.25
	B	39.41	15.59	1.08	0.023	39.56	6.93	0.15	0.27
	BC	45.25	19.66	1.29	0.057	43.45	6.56	0.29	0.31
JG02	A	39.81	17.34	1.43	0.716	43.56	8.25	4.13	0.50
	AB	39.43	9.52	1.23	0.051	24.14	12.92	0.54	0.29
	B <sub>1</sub>	39.36	9.22	1.04	0.025	23.42	11.28	0.27	0.24
	B <sub>2</sub>	39.60	10.97	0.64	0.017	27.70	5.83	0.15	0.14
	BC	36.50	12.08	0.84	0.006	30.58	6.95	0.05	0.21
JG03	A	40.73	15.65	2.15	0.449	38.42	13.74	2.87	1.25
	AB	41.64	15.98	2.08	0.293	38.38	13.02	1.83	4.83
	B	43.29	17.11	2.30	0.352	39.52	13.44	2.06	3.13
	BC	41.30	14.90	0.94	0.059	36.08	6.31	0.40	2.86
JG04	A	40.82	14.83	4.38	1.254	36.33	29.53	8.46	0.19
	AB	40.45	15.98	5.20	1.212	39.51	32.54	7.58	1.81
	B	41.81	8.01	4.56	0.563	19.16	56.93	7.03	1.81
	BC	40.10	8.22	2.95	0.204	20.50	35.89	2.48	1.28
JG05	A	39.84	17.43	5.16	1.414	43.75	29.60	8.11	0.96
	AB	40.91	17.77	5.00	1.241	43.44	28.14	6.98	0.72
	B	39.70	11.34	5.44	0.509	28.56	47.97	4.49	1.50
	BC	39.93	9.06	3.09	0.296	22.69	34.11	3.27	1.29
	C	34.58	5.67	0.43	0.024	16.40	7.58	0.42	1.74
JG06	A	36.42	14.48	5.42	1.261	39.76	37.43	8.71	3.42
	AB	39.97	7.35	5.14	1.207	18.39	69.93	16.42	3.64
	B	39.07	6.19	3.47	0.298	15.84	56.06	4.81	1.71
	BC	32.54	4.88	2.22	0.137	15.00	45.49	2.81	1.18
JG07	A	9.93	2.23	0.96	0.604	22.46	43.05	27.09	0.69
	AR	11.79	0.93	0.78	0.453	7.89	83.87	48.71	0.49

井冈山土壤的游离铁含量为 $6 \sim 20 \text{ g kg}^{-1}$ ,游离度为 $7.89\% \sim 39.56\%$ ,活性铁的含量为 $0.43 \sim 3.47 \text{ g kg}^{-1}$ ,活化度为 $6.31\% \sim 56.93\%$ 。游离度和活化度是反映土壤发育程度的2项重要指标<sup>[10]</sup>,游离度

越高,活化度越低,则说明土壤风化作用越强,土壤发育度越好。当海拔小于 $900 \text{ m}$ 时,随着海拔的上升,除A层外,其他各层土壤游离铁的含量和游离度逐渐下降,同时活性铁的含量和活化度逐渐升高。

说明在海拔高度小于 900 m 的条件下,随着海拔的升高,土壤的风化作用变弱,发育度降低,游离铁易转化为活性铁,土壤处于脱硅富铝化阶段;在海拔高度大于 900 m 的条件下,铁的活化度和铁水合系数都很高,土壤处于脱盐基硅铝化阶段。

络合态铁是以有机物络合态存在于土壤中的铁化合物,属无定形物质。在同一剖面内,络合态铁的

含量总是上层高于下层,这是由于上层的有机质含量比下层高,这样形成的络合态铁就多<sup>[11]</sup>。

铁水合系数为富铝化土壤中无定形铁氧化物与粘粒含量的比值,该值与富铝化程度呈反相关<sup>[12]</sup>。由表 4 可知,JG01 和 JG02 的 B 层的水合系数均较小,分别为 0.27 和 0.24~0.14,远远小于其他土壤剖面 B 层的水合系数,说明 JG01 和 JG02 有较强的富铝化作用。

表 5 土壤的化学全量组成

Table 5 Chemical composition of the soils

剖面号 Profile No.	发生层 Horizon	化学组成 Chemical composition (g kg <sup>-1</sup> )										ba 值 ba value
		S <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	MnO	TiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	
JG01	A	542.7	40.58	141.5	1.15	15.92	0.46	11.40	15.69	17.13	1.68	0.62
	AB	685.1	45.23	131.9	1.44	17.16	0.36	8.04	13.39	12.82	1.63	0.62
	B	673.7	39.41	108.6	1.09	14.15	0.65	8.93	14.57	13.45	1.61	0.70
	BC	424.8	45.25	115.6	1.37	15.16	0.47	6.99	24.19	13.69	1.48	0.78
JG02	A	557.6	39.81	129.6	1.74	8.37	0.26	6.17	12.92	13.65	1.56	0.47
	AB	713.7	39.43	145.4	1.45	13.21	0.33	6.00	13.75	11.69	1.35	0.48
	B <sub>1</sub>	615.2	39.36	141.2	1.16	7.56	0.22	5.44	12.35	12.22	1.43	0.39
	B <sub>2</sub>	554300	39.60	129.9	0.88	7.58	0.39	5.41	12.15	12.47	1.22	0.42
JG03	BC	577.6	39.50	146.7	0.87	6.13	0.15	3.58	10.98	18.75	1.07	0.41
	A	618.0	40.73	119.5	2.23	13.08	0.28	7.62	26.52	13.95	1.98	0.75
	AB	635.0	41.64	116.9	2.01	12.71	0.17	7.82	27.13	15.68	1.52	0.78
	B	637.6	43.29	117.6	1.44	10.76	0.19	8.30	22.29	8.06	1.57	0.64
JG04	BC	694.6	41.30	115.9	2.29	14.50	0.16	6.70	28.65	9.69	1.39	0.76
	A	626.2	40.82	125.8	1.77	12.31	0.24	8.81	22.08	16.59	1.32	0.68
	AB	641.4	40.45	120.2	1.98	12.91	0.18	9.96	22.59	19.41	1.12	0.77
	B	643.2	41.81	122.2	1.46	11.17	0.22	10.72	22.08	15.80	0.96	0.66
JG05	BC	672.9	40.10	125.2	2.31	13.64	0.28	11.39	22.71	14.66	0.87	0.70
	A	571.6	39.84	144.9	1.41	9.36	0.16	3.89	26.21	16.12	2.34	0.56
	AB	606.8	40.91	144.7	1.48	12.54	0.69	5.66	28.77	16.90	2.02	0.65
	B	614.5	39.70	133.9	1.69	13.45	0.33	4.92	30.78	17.26	1.47	0.74
JG06	BC	593.1	39.93	147.2	1.17	10.77	0.30	4.22	30.99	18.25	1.23	0.63
	C	663.5	34.58	123.4	1.14	9.22	0.42	2.41	35.67	17.11	0.92	0.75
	A	513.0	36.42	134.1	2.00	11.98	0.20	2.05	21.30	16.55	2.54	0.63
	AB	504.5	39.97	128.9	2.05	12.10	0.22	3.06	23.15	14.98	2.25	0.65
JG07	B	609.1	39.07	143.2	2.31	11.95	0.16	4.32	27.58	15.12	2.01	0.62
	BC	615.5	32.54	142.1	1.08	6.76	0.15	4.04	24.73	14.80	1.85	0.50
	A	622.6	9.93	77.4	2.22	11.82	0.13	4.51	19.71	16.98	2.27	1.08
	AR	663.7	11.79	107.5	1.47	7.22	0.25	5.33	25.10	18.45	1.55	0.73

## 2.4 土壤的化学组成

井冈山土壤化学组成见表 5。供试剖面土体的化学组成以  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$  为主,  $\text{K}_2\text{O}$  的含量较高,  $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{MgO}$  次之,  $\text{CaO}$ 、 $\text{TiO}_2$ 、 $\text{MnO}$ 、 $\text{P}_2\text{O}_5$  含量较低。 $\text{SiO}_2$  占整个化学组成的 60% 左右,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  占 13% 左右,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  为 4% 左右。化学组成随海拔高度变化不明显, 各土层间的差异也较小。ba 值为土壤风化淋溶系数, 是指土壤中的盐基与氧化铝的分子比值。ba 值越小, 则淋溶作用越强。该区土壤剖面 B 层的

ba 值一般有随着海拔的升高而减少的趋势, 说明高海拔的淋溶作用比低海拔要强。

## 3 土壤系统分类

中国土壤系统分类是以诊断层和诊断特性为基础, 以定量化为特点, 能与国际接轨的分类方案<sup>[1,2]</sup>。按中国土壤系统分类的鉴别指标, 井冈山土壤剖面所具有的诊断层和诊断特性列于表 6。

表 6 井冈山土壤剖面的诊断层和诊断特性

Table 6 Diagnostic horizons and diagnostic characteristics of soils profiles in the Jinggang Mountains

剖面号 Profile No.	海拔 Elevation (m)	暗瘠 表层 Umbric epipedon	淡薄 表层 Ochric Epipedon	雏形层 Cambic Horizon	粘化层 Argic Horizon	低活性 富铁层 LAC- ferric horizon	土壤水 分状况 Soil moisture Regimes	土壤温 度状况 Soil tempera- ture regimes	铁质 特性 Ferric property	盐基 饱和度 Base saturation	石质 接触面 Lithic contact
JG01	260	-	+	-	-	+	湿润 <sup>①</sup>	热性 <sup>①</sup>	+	贫盐基 <sup>⑦</sup>	-
JG02	745	-	+	-	+	-	湿润 <sup>①</sup>	热性 <sup>①</sup>	-	贫盐基 <sup>⑦</sup>	-
JG03	945	-	+	+	-	-	湿润 <sup>①</sup>	温性 <sup>④</sup>	-	不饱和 <sup>⑧</sup>	-
JG04	975	-	+	-	+	-	湿润 <sup>①</sup>	温性 <sup>④</sup>	-	不饱和 <sup>⑧</sup>	-
JG05	1 208	+	-	+	-	-	常湿 <sup>②</sup>	温性 <sup>④</sup>	-	不饱和 <sup>⑧</sup>	-
JG06	1 426	-	+	-	+	-	滞水 <sup>③</sup>	温性 <sup>④</sup>	-	不饱和 <sup>⑧</sup>	-
JG07	1 846	+	-	-	-	-	滞水 <sup>③</sup>	冷性 <sup>⑤</sup>	-	不饱和 <sup>⑧</sup>	+

① Udic; ② Perudic; ③ Stagnic; ④ Thermic; ⑤ Mesic; ⑥ Frigid; ⑦ Poor base; ⑧ Unsaturated

### 3.1 诊断层

**3.1.1 诊断表层** 井冈山地区土壤诊断表层是在腐殖质积累作用下形成的, 包括 A 层及由 A 层向 B 层过渡的 AB 层。它包括<sup>[2]</sup>:

**暗瘠表层:** 有机碳含量高或较高, 盐基不饱和的暗色腐殖质表层<sup>[2]</sup>, 如剖面 JG05、JG07。

**淡薄表层:** 发育程度较差的淡色或较薄的腐殖质表层。如剖面 JG01、JG02、JG03、JG04、JG06。

**3.1.2 诊断表下层** 是由于物质的淋溶、迁移、淀积或就地富集作用在土壤表层之下所形成的具诊断意义的土层。包括发生层中的 B 层和 E 层, 主要有<sup>[2]</sup>:

**低活性富铁层:** 由中度富铝化作用形成的具低活性粘粒和富含游离铁的土层, 其主要特征是: 厚度 > 30 cm, 细土 DCB 浸提游离铁含量  $\geq 14 \text{ g kg}^{-1}$  (游离氧化铁  $\geq 20 \text{ g kg}^{-1}$ ) 或游离铁占全铁的 40%,  $\text{CEC}_7 < 24 \text{ cmol kg}^{-1}$ 。JG01 符合条件。

**粘化层:** 有粘粒淋移淀积。首先土块结构和孔

隙壁上有明显的粘粒胶膜存在; 其次 B 层与 A 层粘粒增量应是在均一母质上, 若 A 层粘粒含量在 15% ~ 40% 之间, 则下层绝对增量 > 4%。共有 JG02、JG04、JG06 符合粘化层的鉴定指标。

**雏形层:** 风化一成土过程中形成的无或基本无物质淀积, 未发生明显粘化、带棕、红棕、红、黄或紫等颜色, 且有土壤结构发育的 B 层<sup>[2]</sup>。共有 JG03、JG05 符合雏形层的鉴定指标。

### 3.2 诊断特性

**3.2.1 温度状况** 据土表下 50 cm 深度处或浅于 50 cm 的石质或准石质接触面处的土壤温度, 确定土壤温度状况。根据井冈山气象资料, 由土壤及气温关系推算得: 井冈山海拔大于 1 000 m 的土壤温度状况为“温性或冷性”, 海拔小于 1 000 m 的土壤温度状况为“热性”, 因而剖面 JG01、JG02 属热性温度状况, JG03、JG04、JG05、JG06 属温性温度状况, JG07 属冷性温度状况。

**3.2.2 水分状况** 井冈山地区降雨量随海拔高

度的增大而增大,具有较明显的垂直带谱性。海拔低于 1 000 m 的剖面 JG01、JG02、JG03、JG04 位于湿润气候地区,夏季降水多,土壤贮水量加降水量大致等于或超过蒸散量;大多数年份水分可下渗通过整个土壤,属湿润土壤水分状况;海拔高于 1 000 m 的剖面 JG05 降雨更丰沛,全年各月水分均能入渗通过整个土壤,属常湿润土壤水分状况;剖面 JG07 和 JG06 降雨量超过 2 000 mm,属滞水土壤水分状况。

**3.2.3 铁质特性** B 层细土部分游离铁(Fe)  $\geq 14\text{g kg}^{-1}$  或游离铁占全铁  $\geq 40\%$  或土壤基质色调为 5YR 或更红。剖面 JG01 符合铁质特性的鉴定指标。

**3.2.4 盐基饱和度** 吸收复合体被 K、Na、Ca 和 Mg 阳离子饱和的程度(NH<sub>4</sub>OAc 法),剖面 JG01、JG02 为贫盐基;剖面 JG03、JG04、JG05、JG06、JG07 为盐基不饱和。

**3.2.5 石质接触面** 剖面 JG07 在 25 cm 处土壤与紧实黏结的下垫物质(岩石)接触,不能被用铁铲挖出。具有石质接触面。

### 3.3 土壤类型的归属

根据上述诊断层和诊断特性,按照文献[1]和[2]进行检索命名,并与我国发生学命名作对比<sup>[13-15]</sup>,结果列于表 7。JG01 具有低活性富铁层且其土层色调呈 2.5YR,属富铁土纲的暗红筒育湿润富铁土。JG02 和 JG04 具有粘化层和湿润的水分状态,属湿润淋溶土亚纲,其中 JG02 为红色酸性湿润淋溶土, JG04 为普通酸性湿润淋溶土。JG03 和 JG05 具有雏形层,属雏形土纲,其中 JG03 为湿润雏形土亚纲的普通酸性湿润雏形土, JG05 为常湿雏形土亚纲的普通筒育常湿雏形土。JG07,无结构 B 层的发育且有石质接触面,为石质湿润正常新成土。

表 7 供试剖面在中国土壤系统分类和发生学分类中的归属

Table 7 Descriptions of the soil profiles in the Chinese soil taxonomy and Genetic classification

剖面号 Profile No.	海拔 Elevation (m)	中国土壤系统分类 <sup>[2]</sup> (2001) Chinese Soil Taxonomy				发生学分类 <sup>[15]</sup> (1998) Genetic Classification
		土纲 Order	亚纲 Suborder	土类 Group	亚类 Subgroup	
		JG01	260	富铁土	湿润富铁土	
JG02	745	淋溶土	湿润淋溶土	酸性湿润淋溶土	红色酸性湿润淋溶土	黄红壤
JG03	945	雏形土	湿润雏形土	酸性湿润雏形土	普通酸性湿润雏形土	黄壤
JG04	975	淋溶土	湿润淋溶土	酸性湿润淋溶土	普通酸性湿润淋溶土	黄壤
JG05	1208	雏形土	常湿雏形土	筒育常湿雏形土	普通筒育常湿雏形土	黄壤
JG06	1426	淋溶土	常湿淋溶土	筒育常湿淋溶土	普通筒育常湿淋溶土	暗黄棕壤
JG07	1846	新成土	正常新成土	湿润正常新成土	石质湿润正常新成土	山地灌丛草甸土

从土壤的垂直分布来看, JG03 和 JG05 土层中无粘化层,可能是坡积过程干扰了正常的粘化过程,故井冈山土壤分布垂直带谱应为:从下到上依次为湿润富铁土、湿润淋溶土、常湿淋溶土、正常新成土。

## 4 结 论

1) 土壤质地以粘土和壤土为主,随着海拔升高,土壤质地由壤质粘土、粉砂质粘壤土逐渐过渡到粘壤土、壤土和砂质壤土,土壤的风化程度逐渐降低。

2) 该区土壤 CEC<sub>7</sub> 值在 21.27 ~ 255.74 cmol kg<sup>-1</sup> 之间变化,有随海拔升高而逐渐增高的趋势,其

中以腐殖质层最明显。

3) 当海拔高度小于 900 m,随着海拔的升高,土壤的风化作用变弱,发育度降低,游离态铁易转化为活性铁,土壤处于脱硅富铝化阶段,当海拔高度大于 900 m,铁的活化度和铁水合系数都较高,土壤处于脱盐基硅铝化阶段。井冈山土壤剖面 B 层的 ba 值有随海拔的升高而减小的趋势,说明高海拔的淋溶作用比低海拔要强。

4) 参考井冈山土壤自然环境的垂直变化规律及土壤的发生特性,按照中国土壤系统分类方案划分,井冈山土壤的垂直带谱结构为:湿润富铁土(< 500 m),湿润淋溶土(500 ~ 1 000 m),常湿淋溶土



(1 000 ~ 1 500 m), 正常新成土(1 500 ~ 1 900 m)。

### 参考文献

- [1] 龚子同主编. 中国土壤系统分类: 理论·方法·实践. 北京: 科学出版社, 1999. 23 ~ 28. Gong Z T. ed. Chinese Soil Taxonomy: Theory, Method and Practice (In Chinese). Beijing: Science Press, 1999. 23 ~ 28
- [2] 中国科学院南京土壤研究所土壤系统分类课题组, 中国土壤系统分类课题研究协作组著. 中国土壤系统分类检索(第三版). 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2001. Chinese Soil Taxonomy Research Group, Institute of Soil Science, Academia Sinica, Cooperative Research Group on Chinese Soil Taxonomy. ed. Keys to Chinese Soil Taxonomy. (In Chinese). 3<sup>rd</sup> Ed. Hefei: Chinese Science and Technological University Press, 2001
- [3] 黄昌勇主编. 土壤学. 北京: 中国农业出版社, 1999. 69 ~ 89. Huang C Y. ed. Soil Science (In Chinese). Beijing: Chinese Agriculture Press, 1999. 69 ~ 89
- [4] 陈焕明, 张凤荣, 刘黎明, 等编著. 土壤资源调查. 北京: 中国农业大学出版社, 1997. 71 ~ 99. Cheng H M, Zhang F R, Liu L M, et al. eds. Survey of Soil Resource (In Chinese). Beijing: Chinese Agricultural University Press, 1997. 71 ~ 99
- [5] 鲁如坤编. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 2000. Lu R K. ed. Analysis Method of Soil Agro-chemistry (In Chinese). Beijing: Chinese Agriculture Science and Technology Press, 2000
- [6] 黄承武, 徐盛荣. 我国北亚热带花岗岩发育土壤的特性和系统分类. 土壤通报, 1997, 28(2): 55 ~ 58. Huang C W, Xu S R. Characteristics and taxonomic classification of granite developed soils in north subtropics China (In Chinese). Chinese Journal of Soil Science, 1997, 28(2): 55 ~ 58
- [7] 顾也萍, 刘必融, 汪根法, 等. 皖南山地土壤分类研究. 土壤学报, 2003, 40(1): 10 ~ 21. Gu Y P, Liu B R, Wang G F, et al. Taxonomic classification of soils in the mountain regions in south Anhui (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2003, 40(1): 10 ~ 21
- [8] 常庆瑞, 雷梅, 冯立孝, 等. 秦岭北坡土壤发生特性与系统分类. 土壤学报, 2002, 39(2): 227 ~ 235. Chang Q R, Lei M, Feng L X, et al. Genetic characteristics and taxonomy of soils on the northern slope of the qinling mountain (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2002, 39(2): 227 ~ 235
- [9] 肖笃宁, 谢志宵. 试论中国淋溶土的成土过程与基本特性. 土壤学报, 1994, 31(4): 403 ~ 412. Xiao D N, Xie Z X. Pedogenic processes and characteristics of Alfisols in China (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 1994, 31(4): 403 ~ 412
- [10] 雷梅, 常庆瑞, 冯立孝, 等. 太白山土壤特性及氧化铁发生学特征. 地理研究, 2001, 20(1): 83 ~ 90. Lei M, Chang Q R, Feng L X, et al. Soil characteristic and genetic feature of iron oxide of Taibai mountains (In Chinese). Geographical Research, 2001, 20(1): 83 ~ 90
- [11] 傅桦, 丁瑞兴. 我国北亚热带白浆化土壤氧化铁的研究. 科技通报, 1995, 28(6): 370 ~ 374. Fu H, Ding R X. Studies on iron oxides of Albic Soils in the northern subtropical region of China. Bulletin of Science and Technology (In Chinese) 1995, 28(6): 370 ~ 374
- [12] 章明奎. 土壤氧化铁的形态在浙江红壤和黄壤分类中的意义. 浙江农业大学学报, 1990, 16(1): 42 ~ 50. Zhang M K. Significance of soil iron oxide forms on classification of red earth and yellow earth in Zhejiang Province (In Chinese). Journal of Zhejiang Agricultural University, 1990, 16(1): 42 ~ 50
- [13] 龚子同, 张甘霖, 陈志诚, 等. 以中国土壤系统分类为基础的土壤参比. 土壤通报, 2002, 33(1): 1 ~ 5. Gong Z T, Zhang G L, Chen Z C, et al. Soil reference on the base of Chinese Soil Taxonomy (In Chinese). Chinese Journal of Soil Science, 2002, 33(1): 1 ~ 5
- [14] 龚子同, 陈志诚, 骆国保, 等. 中国土壤系统分类参比. 土壤, 1999, 31(2): 57 ~ 63. Gong Z T, Chen Z C, Luo G B, et al. Correlation of Chinese soil taxonomy (In Chinese). Soils, 1999, 31(2): 57 ~ 63
- [15] 全国土壤普查办公室. 中国土壤. 北京: 中国农业出版社, 1998. The Office of Chinese Soil General Survey ed. Soils of China (In Chinese). Beijing: Chinese Agriculture Press, 1998

## GENETIC CHARACTERISTICS AND TAXONOMY OF SOILS IN THE JINGGANG MOUNTAINS

Feng Yuehua<sup>1,2</sup> Zhang Yangzhu<sup>1†</sup> Zou Yingbin<sup>2†</sup> Hu Sheng<sup>1</sup>

Huang Yunxiang<sup>1</sup> Zhou Qing<sup>1</sup> Hu Ruizhi<sup>1</sup> Wang Cuihong<sup>1</sup>

(1 *College of Nature Resources and Environment, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China*)

(2 *College of Agronomy, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China*)

**Abstract** To popularize application of the Chinese Soil Taxonomy and elucidate positions of the soils of the Jinggang Mountain in the system, this paper attempted to classify the soils on the Jinggang Mountains, which are located on the boundary between Hunan and Jiangxi. Comprehensive analysis of findings of out-door investigations and results of indoor tests of soil samples for physical and chemical properties showed that the main properties of the soils in the Jinggang Mountains varied regularly with the altitude. According to the Chinese Soil Taxonomy (3rd edition), the altitudinal zonation of the soils in the region consists of Udic Ferrosols (< 500 m), Udic Argosols (500 ~ 1 000 m), Perudic Argosols (1 000 ~ 1 500 m), and Orthic Primosols (1 500 ~ 1 900 m).

**Key words** Jinggang Mountains; Mountain soils; Soil taxonomy; Genetic characteristics; Altitudinal zonation